Ueber den Einfluss kolloidaler Substanzen auf die Ueberführungszahl und das Leitvermögen einiger ternärer Elektrolyte.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

einer Hohen philosophischen Fakultät

der

Vereinigten Friedrichs-Universität Halle-Wittenberg

vorgelegt von

Hans Gummelt

aus **Hamburg.**

ACAD. LUGD. BAT. BIBL.

Halle a. S.
Buchdruckerei Hohmann
1914.

Referent: Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. E. Dorn.

Termin der mündlichen Prüfung: 20. Mai 1914.

Meinen lieben Eltern.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41544302_0300

Inhaltsübersicht.

Einleitung 6

Theoretischer Teil 8

Experimenteller Teil 12

I. Die Ueberführungszahl 12

a) Der Ueberführungsapparat 12

b) Versuchsanordnung 13

c) Berechnung der Ueberführungszahl 15

d) Herstellung der Lösungen 16

e) Analysen 17

f) Ergebnisse 18

II. Das elektrische Leitvermögen 19

a) Apparate 19

b) Versuchstemperaturen 20

c) Bestimmung der Widerstandskapazität . . . 21

d) Ergebnisse 22

Einleitung.

Seit Kohlrausch[1] durch Kombination der Hittorfschen Ueberführungszahlen mit dem Leitvermögen der Elektrolyte die Gesetzmäßigkeiten auf diesem Gebiet aufgedeckt hat, ist an der Erweiterung des Zahlenmaterials rastlos gearbeitet worden, sodaß heute die Untersuchungen für binäre Elektrolyte so gut wie abgeschlossen sind. Desgleichen ist auch der Einfluß von Nichtleitern, die dem Elektrolyten zugesetzt wurden, des Oefteren untersucht, doch beziehen sich diese Meßungen größtenteils auf Alkoholgemische und einige andere Flüssigkeiten. Eine Zusammenstellung der diesbezüglichen Literatur findet sich in den Dissertationen von Eisenstein[2] und Richter.[3] Letzterer untersuchte auf Anregung des Herrn Professor Dorn im hiesigen Institut zum ersten Male eingehender den Einfluß kolloidaler Substanzen auf die Ueberführungszahl und das elektrische Leitvermögen. Es führten diese Untersuchungen, die sich auf binäre Elektrolyte erstreckten, zu bestimmten Gesetzmäßigkeiten für die Einflüsse der Kolloide. Ob sich für ternäre Elektrolyde ähnliche Regeln aufstellen lassen, steht von vornherein nicht fest, vielmehr muß man nach Arbeiten von Kohlrausch daran berechtigten Zweifel hegen. In seiner

[1] Wied. Ann. 6 S. 167. 1879.
[2] Diss., Berlin 1902.
[3] Diss., Halle 1912.

Arbeit: „Ueber die Ionenbeweglichkeit im Wasser“[1], gibt Kohlrausch z. B. an, daß sich sein Gesetz von der unabhängigen Wanderung der Ionen für 2+1 wertige Salze nur mangelhaft bestätigt, ein Ergebnis, das durch die Untersuchungen von Althammer[2] im hiesigen physikalisch-chemischen Institut unterstützt wird. Wir haben also wahrscheinlich für ternäre Elektrolyte mit anderen Verhältnissen zu rechnen. Um hier einige Klarheit zu schaffen, habe ich auf Veranlassung meines verehrten Lehrers Herrn Prof. Dr. Dorn in der folgenden Arbeit den Einfluß kolloidaler Substanzen auf die Ueberführungszahl und das Leitvermögen einiger ternärer Elektrolyte untersucht.

---

[1] Kohlrausch, Zeitschrift für Elektrochemie XIII, 333, 1907.
[2] Diss., Halle 1913.

Theoretischer Teil.

Bevor ich zu der Besprechung meiner experimentellen Untersuchungen schreite, möchte ich einige theoretische Erörterungen vorausschicken.

Nach der Dissoziationstheorie von Arrhenius zerfällt in der wässerigen Lösung eines Elektrolyten eine gewisse Anzahl von Molekülen in Ionen, und zwar haben wir die mit positiver Elektrizität geladenen Metall- bezw. Wasserstoffionen und die negativ elektrischen Säure- oder Halogenionen zu unterscheiden. Die Leitung der Elektrizität erfolgt in Lösungen durch Bewegung dieser Ionen, von denen chemisch äquivalente Mengen mit gleichen Elektrizitätsquanten behaftet sind. Taucht man also in einen Elektrolyten zwei Elektroden und stellt zwischen diesen eine Potentialdifferenz her, so kommt eine Bewegung der Ionen zustande, man sagt kurz, die Flüssigkeit leitet den Strom. Betrachten wir einen Querschnitt des Elektrolyten zwischen den Elektroden, so wird durch ihn in jedem Augenblick eine bestimmte Anzahl positiver Ionen in der einen und negativer Ionen in der entgegengesetzten Richtung hindurchwandern. Man war nun lange der Ansicht, daß diese Anzahl positiver und negativer Ionen einander gleich sein müsse. Erst Hittorf[1] kommt das Verdienst zu, die tatsächlichen Verhältnisse richtig erkannt zu haben. Die schon von Faraday beobachteten an den Elektroden auftretenden Konzentrationsänderungen führten Hittorf dazu, den Ionen eine bestimmte

[1] Pogg. Ann. 89 S. 177, 98 S. 1, 103 S. 1, 106 S. 337 und 513 (1853—59). — Abdruck in Ostw. Kl. der ex. Wiss. Nr. 21 und 23.

Wanderungsgeschwindigkeit beizulegen. Nehmen wir z. B. für das Wasserstoffion eine fünfmal so große Geschwindigkeit als für das Chlorion an (was der Wirklichkeit entspricht), so werden von der Anode fünfmal soviel Wasserstoffionen fortwandern, als sich von der Kathode Chlorionen zur Anode bewegen, d. h. mit anderen Worten, an der Anode ist der Stoffverlust fünfmal so groß als an der Kathode, es werden sich also dementsprechende Konzentrationsänderungen ergeben. Dieses Beispiel entspricht der allgemeinen Regel: Der Verlust gelöster Substanz an der Kathode verhält sich zum Verlust an der Anode, wie die Wanderungsgeschwindigkeit des Anions zu der des Kations. Da man den Verlust nach der Zahl der durch den Querschnitt gewanderten Ionen bemißt, so läßt sich folgende Proportion aufstellen:

$$\frac{n'}{n} = \frac{v}{u} \qquad 1)$$

wobei n' die Anzahl der durchgewanderten Anionen, n die Anzahl der durchgewanderten Kationen, v die Geschwindigkeit des Anions und u die des Kations ist. Eine kleine Umformung der Gleichung 1) führt uns zu einem Quotienten n_a, den Hittorf als Ueberführungszahl des Anions bezeichnet.

$$n_a = \frac{n'}{n + n'} = \frac{v}{u + v} \qquad 2)$$

In Worten haben wir zu definieren: Die Ueberführungszahl des Anions ist das Verhältnis der Anzahl der durch den Querschnitt wandernden Anionen zu der Anzahl der gleichzeitig zersetzten Moleküle des Elektrolyten oder nach dem 2. Teil der Gleichung, das Verhältnis der Geschwindigkeit des Anions zu der Summe der Geschwindigkeiten des Anions und Kations. Ganz entsprechend ergibt sich die Ueberführungszahl der Kations als:

$$n_k = \frac{n}{n + n'} = \frac{u}{u + v} \qquad 3)$$

Weiter folgt durch Addition von 2) und 3)

$$n_a + n_k = 1 \qquad 4)$$

d. h. die Ueberführungszahl des Anions und Kations geben summiert 1.

Durch Division von 2) und 3) folgt

$$\frac{n_a}{n_k} = \frac{v}{u} \qquad 5)$$

d. h. die Ueberführungszahlen verhalten sich wie die Wanderungsgeschwindigkeiten.

Denken wir uns an die gegenüberliegenden Flächen eines prismatischen Gefäßes von 1 cm^2 Querschnitt und 1 cm Länge, welches mit einem Elektrolyten gefüllt ist, die Potentialdifferenz e gelegt, so wird sich die in der Zeiteinheit durch den Elektrolyten hindurchgehende Elektrizitätsmenge, also die Stromstärke I, darstellen als Summe der durch die beiden Ionenarten beförderten Elektrizitätsmenge. Die Elektrizitätsmenge wird proportional sein:

1. ε, der elektrischen Ladung des gr-Aequivalentes,
2. η, der Aequivalentkonzentration[1], d. i. die Anzahl der gr-Aequivalente, die in 1 cm^3 Lösung enthalten sind,
3. e, der Potentialdifferenz und
4. U+V, der Summe der Geschwindigkeiten des Kations und des Anions.

Es wird also

$$I = (U+V)\,\varepsilon\,\eta\,e \qquad 6)$$

Andererseits ist nach dem Ohmschen Gesetze

$$I = \frac{e}{w} \qquad 7)$$

und da $w = \frac{1}{\varkappa} \cdot \frac{l}{q}$ ist, wobei $\varkappa$ das spezifische Leitvermögen bedeutet, l die Länge und q der Querschnitt des Elektrolyten ist, so wird, wenn wir berücksichtigen, daß für unsere Betrachtungen l und q gleich 1 sind

$$I = e\varkappa \qquad 8)$$

werden. Durch Gleichsetzung von 6) und 8) ergibt sich

$$\varkappa = (U+V)\,\eta\,\varepsilon.$$

[1] Streng genommen ist hinzuzufügen, daß hierbei die Dissociationskonstante gleich 1 angenommen wird.

Setzen wir noch

$$U\varepsilon = u$$
$$V\varepsilon = v,$$

so ergibt sich

$$\varkappa = (u+v)\eta \qquad \text{oder}$$
$$\frac{\varkappa}{\eta} = (u+v)\eta = \Lambda \qquad 9)$$

Die Größe $\frac{\varkappa}{\eta} = \Lambda$, d. h. das spezifische Leitvermögen dividiert durch die Aequivalentkonzentration, nennt man die äquivalente Leitfähigkeit.

Nach Gleichung 2 und 3 war

$$n_a = \frac{v}{u+v} \qquad n_k = \frac{u}{u+v}$$

falls wir hierin für $u+v$ Λ einsetzen, wird

$$n_a = \frac{v}{\Lambda} \qquad n_k = \frac{u}{\Lambda} \qquad 10)$$

Wir haben somit eine einfache Beziehung zwischen der Ueberführungszahl und dem Leitvermögen gefunden. Kohlrausch bezeichnet in seiner Arbeit die Größen u und v mit l_k und l_a und nennt sie die Beweglichkeit der Ionen.

Als weitere Beziehungen ergeben sich

$$\Lambda = l_a + l_k \qquad 11)$$

d. h., das äquivalente Leitvermögen ist gleich der Summe der Beweglichkeiten und ferner

$$l_a = n_a \Lambda \qquad l_k = (1 - n_a)\Lambda \qquad 12)$$

d. h., die Beweglichkeiten der Ionen sind gleich der Ueberführungszahl multipliziert mit dem Aequivalentleitvermögen.

In Tabelle 15 sind auf Grund von Versuchen angegeben:
$\varkappa_{18}$, das spezifische Leitvermögen bei 18°,
η, die Aequivalentkonzentration,
berechnet sind:
Λ, das äquivalente Leitvermögen gleich $\frac{\varkappa_{18}}{\eta}$,
l_a, die Beweglichkeit des Anions gleich $n_a \Lambda$ (n_a wurde gleichfalls experimentell gewonnen, siehe Tabelle 1 — 13).

Experimenteller Teil.

I. Die Ueberführungszahl.

a) Der Ueberführungsapparat.

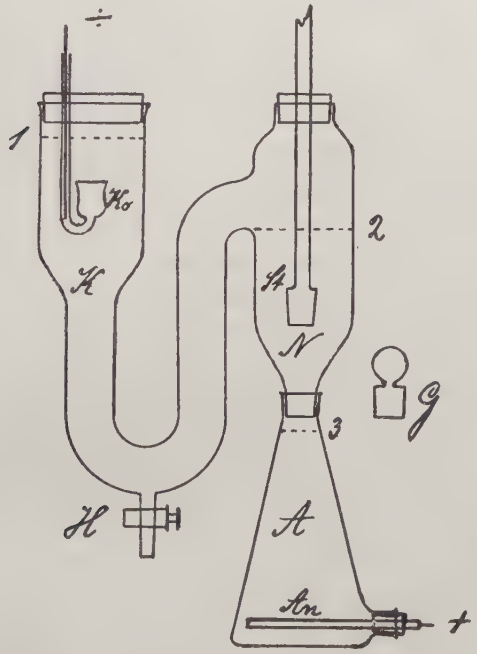
Die im hiesigen Institute früher ausgeführten Ueberführungsmessungen wurden, nach einer Prüfung verschiedener Apparatformen durch Richter, sämtlich mit dem, in seiner Grundform schon von Hittorf stammenden, von Jahn und Hopfgartner[1] mehrfach verbesserten, in Fig 1, S. 13 dargestellten Apparat ausgeführt, den u. a. auch Jahn zu seinen wertvollen Arbeiten benutzte. Bei der Prüfung eines Ueberführungsapparates kommt es vor allem darauf an, festzustellen, ob nach der Durchleitung des Stromes zwischen der Anode und der Kathode im Elektrolyten eine Zone unveränderter Konzentration erhalten geblieben ist. Da nach jedem Versuch eine Analyse dieser Zone, die man kurz als Neutralschicht zu bezeichnen pflegt, vorzunehmen ist, um etwaige durch äußere Störungen hervorgerufene Fehler auszuschließen, so hatte ich hinreichend Gelegenheit festzustellen, daß der Hittorfsche Apparat obiger Anforderung in denkbar weitgehendstem Maße genügt.

Der in Fig. 1 S. 13 in $^1/_4$ natürlicher Größe dargestellte Apparat ist ganz aus Glas gefertigt und zerfällt in 3 Teile, dem Kathodenraum K zwischen 1 und 2, der neutralen Zone N zwischen 2 und 3, und dem Anodengebiet A unterhalb 3.

[1] Ztschr. f. phys. Chemie 25, S. 115, 1898.

Das Anodengefäß hat die Form der bekannten Erlenmeyerschen Kolben und ist durch einen Schliff abnehmbar mit dem übrigen Teil des Apparates verbunden. Durch einen seitlichen Ansatz ist die Anode, der Metallstab An, vermittelst eines Gummistopfens befestigt.

Fig. 1.



St ist ein verschiebbarer Glasstöpsel, der, falls er gesenkt wird, den Raum N unten abschließt. Als Kathode dient eine kleine Quecksilbermenge, die sich in dem Gefäß Ko befindet. Durch den Hahn H kann die Kathodenflüssigkeit abgelassen werden.

b) Versuchsanordnung.

Der Gang eines Versuches gestaltet sich folgendermaßen.

Er wird zunächst das gesäuberte und getrocknete Anodengefäß mit dem Stöpsel G und der Anode, in unserem Falle ein Cadmiumstab, auf Milligramm gewogen, worauf die Füllung

des Gefäßes mit dem vorher genau analysierten Elektrolyten vorgenommen wird. Es ist hierbei darauf zu achten, daß alle an den Wänden haftenden Luftblasen entfernt werden. Sodann wird der übrige Teil des Apparates auf das Anodengefäß aufgesetzt, der Stopfen St wie in Fig. gestellt und die Füllung vollendet. Das kleine Kathodengefäß Ko ist vor der Einführung in den Elektrolyten wie folgt zu füllen. Ein paar Tropfen Quecksilber, eine Schicht konzentrierter Zinkchloridlösung, um störende Gasentwicklung zu vermeiden, und endlich eine Schicht Elektrolytflüssigkeit. Zwischen Zinkchlorid und Elektrolyt muß mit möglichster Sorgfalt eine scharfe Trennungsfläche erzielt werden. Nachdem die Kathode vorsichtig in den Elektrolyten gebracht ist, wird der Apparat nunmehr zusammen mit einem Amperemeter und einem Silbervoltameter, dessen Platintiegel genau gewogen wurde, in einen Stromkreis geschaltet, durch den man etwa zwei Stunden einen Strom von 15 Milliampere gehen läßt. Nach dieser Zeit wird sich im Platintiegel des Voltameters etwa 0,2 gr Silber abgesetzt haben, und der Strom kann unterbrochen werden. Durch langsames Senken des Stopfens St ist nun zunächst die Anodenflüssigkeit gegen die neutrale Schicht abzuschließen, sodann durch Oeffnen des Hahnes H die Kathodenflüssigkeit von der neutralen Schicht zu trennen. Nachdem das Anodengefäß abgenommen ist und vorsichtig etwa 10 cm ^{3} Flüssigkeit, die noch zur neutralen Schicht gerechnet werden können, oben abpipettiert worden sind, wird es mit dem Stöpsel G verschlossen und zur Wage gebracht. Aus der Wägung und der vorzunehmenden Analyse läßt sich, zusammen mit der früher gemachten Analyse, leicht die Konzentrationsänderung oder mit anderen Worten die übergeführte Anionenmenge bestimmen. Die ausgeschiedene Anionenmenge (in unserem Falle sind es Bromionen) erhalten wir aus dem Gewicht des reduzierten Silbers durch Multiplikation mit $^{79,96}/_{107,93}$.

Somit sind die nötigen Größen für die Berechnung der Ueberführungszahl gewonnen. Zum Schluß ist noch eine Prüfung der neutralen Schicht anzustellen. Ist ihre Konzentration un-

verändert geblieben, so kann der Versuch als gelungen angesehen werden.

Bemerkt sei noch, daß die Messungen in einem Kellerraum ausgeführt wurden, in dem ziemlich konstant eine Temperatur von 12,6° herrschte, es konnte daher von der Benutzung eines Thermostaten Abstand genommen werden.

c) Berechnung der Ueberführungszahl.

In dem Folgenden soll kurz gezeigt werden, wie sich die Berechnung der Ueberführungszahl gestaltet. Als Beispiel ist eine $^1/_{20}$ normale $BaBr_2$-Lösung gewählt worden.

Analyse der ursprünglichen Lösung.

10 cm³ wogen[1]	10,0055 gr
sie enthielten	0,03997 gr Br
d. h.	0,07431 gr $BaBr_2$
10 cm³ der ursprünglichen Lösung enthielten somit	9,9312 gr. Wasser.

Voltameter.

Im Voltameter wurden 0,1892 gr Silber abgeschieden. Im Anodenraum ist die äquivalente Menge Brom, also 0,14017 gr ausgeschieden und mit dem Anodenmetall in Form von $CdBr_2$ in Lösung gegangen.

Analyse der Anodenflüssigkeit.

Die Anodenflüssigkeit wog	203,135 gr
10 cm³ wogen	10,0109 gr
sie enthielten	0,04366 gr Br
d. h. die gesamte Anodenfl. enthielt . .	0,88594 gr Br

Hiervon sind wie die Voltameterberechnung ergeben hat, 0,14017 gr an Cd gebunden, die übrige Menge, also 0,74577 gr ist an Ba gebunden und ergibt 1,3866 gr $BaBr_2$. Demnach hat die gesamte Anodenflüssigkeit einen Wassergehalt von

$$203{,}135-(0{,}1402+1{,}3866)=201{,}608 \text{ gr. } H_2O.$$

[1] Mittels genau ausgewogener Pipette abgemessen, siehe S. 17.

Diese 201,608 gr H_2O enthielten

nach der Elektrolyse	0,88594	gr Br
vor der Elektrolyse	0,81140	gr Br
mithin sind durch die Elektrolyse	0,07454	gr Br

übergeführt.

Hieraus ergibt sich die Ueberführungszahl des Anions:

$$n_a = \frac{0{,}07454}{0{,}14017} = 0{,}5318$$

d) Herstellung der Lösungen.

Die von mir untersuchten Salze waren $CaBr_2$, $SrBr_2$ und $BaBr_2$, die zugesetzten Kolloide Agar-Agar, Gelatineleim, Gummiarabikum und Pepton. Die Präparate wurden von Merck bezogen, nur das Pepton von Dr. Grübler-Dresden. Es wurde nur für das Bariumbromid eine Umkristallisation für nötig erachtet. Die Kolloide sind sämtlich vor der Herstellung der Lösungen einige Zeit dialysiert worden, doch konnte nur für das Gummiarabikum eine geringe Herabsetzung der Leitfähigkeit festgestellt werden. Die Herstellung der Lösungen geschah in der folgenden Weise, die Salze wurden zu $^1/_{10}$ normalen Lösungen gelöst und das jeweilig zur Elektrolyse kommende Quantum mit der gleichen Volumen Kolloidlösung verdünnt, so daß in allen Fällen $^1/_{20}$ normale Lösung zur Untersuchung gelangten. Das Lösungswasser, von der Firma W. Kathe-Halle, zeigte eine Leitfähigkeit von $4{,}0 \cdot 10^{-6}$, ein Wert, der gegen die Leitfähigkeit der Lösungen von der Größenordnung 10^{-2} so klein ist, daß von einer nochmaligen Destillation abgesehen werden konnte. Die einzelnen Kolloidlösungen verschiedener Konzentration wurden in der Weise erhalten, daß zunächst eine bestimmte Kolloidmenge in kochendem Wasser gelöst wurde, diese Lösung wollen wir als $^1/_1$ Lösung bezeichnen. Sie wurde nach dem Erkalten an der Wasserstrahlpumpe filtriert und ihre Konzentration durch Eindampfen genau bestimmt. Hierbei ergaben sich im Mittel die folgenden Konzentrationen:

1000 cm^3 Lösung enthielten

2,930 gr Agar-Agar
60,624 gr Gelatineleim
80,276 gr Gummiarabikum
5,824 gr Pepton.

Es wurden so verschiedene Kolloidmengen gewählt, um nach Möglichkeit Lösungen gleicher Konsistenz zu erhalten.

Die folgenden Lösungen wurden nun durch Auffüllen von 500 bezw. 250, 125 und 62,5 cm^3 zu einem Liter gewonnen und können somit also als $^1/_2$, $^1/_4$, $^1/_8$ und $^1/_{16}$ Lösungen bezeichnet werden.

e) Analysen.

Die Konzentration der ursprünglichen Lösung und der Anodenflüssigkeit nach der Elektrolyse wurde, wie schon erwähnt, auf maßanalytischem Wege bestimmt, und zwar fand die Volhardsche Methode Verwendung. Da immerhin noch recht kleine Analysenfehler schon verhältnismäßig große Schwankungen für das Schlußresultat herbeiführen und andererseits die festzustellende Beeinflussung der Ueberführungszahl durch die Kolloide nur relativ klein ist, so liegt es auf der Hand, daß hier mit der allergrößten Sorgfalt verfahren werden muß, wenn die Arbeit überhaupt zu einem brauchbaren Resultat führen soll. Nur durch anhaltende Uebung, wobei natürlich immer mit denselben Pipetten, Büretten und Lichtverhältnissen zu arbeiten ist, konnten schließlich die Analysenfehler auf 0,12 % des sich ergebenden Wertes reduziert werden. Der Gang einer Analyse ist kurz folgender: Es wird eine bestimmte Menge (10 cm^3) des Elektrolyten mit einer Pipette genau abgemessen. Es sei beiläufig bemerkt, daß Wägungen solcher, auf diese Weise gewonnener Quanten, bei einiger Uebung und falls mit absolut reiner, von Fettspuren freier Pipette gearbeitet wurde, nicht mehr als 1 mg voneinander abwichen, eine Genauigkeit, die für unseren Fall erforderlich ist, aber von vornherein wohl nicht immer erzielt wird. — Zu dieser abgemessenen Elektrolytmenge werden zunächst ein paar Tropfen konzentrierter Eisenammoniakalaunlösung und

etwa 10 cm^3 verdünnter Salpetersäure gebracht und sodann aus einer Bürette soviel Silbernitrat von bekanntem Titer hinzugefügt, bis ein Ueberschuß an Silber erreicht ist, der durch eine Rhodankaliumlösung, von ebenfalls bekanntem Faktor, zurücktitriert werden kann. Der Farbenumschlag ist, falls die Niederschläge durch schütteln sich genügend zusammengeballt haben, leidlich gut erkennbar. Die zur Titration verwandten Lösungen waren ungefähr $^1/_{20}$ normal, die genaue Einstellung erfolgte in der Weise, daß zunächst der Titer der Rhodankaliumlösung durch abgewogene Silbernitratmengen bestimmt wurde und nachher der Gehalt der Silbernitratlösung durch Vergleich mit dem Rhodankalium festgestellt wurde.

f) Ergebnisse.

In Tabelle 1 sind zunächst die Ueberführungszahlen der Salze ohne Kolloidzusatz berechnet, es seien die sich ergebenden Werte, zusammen mit der spezifischen Leitfähigkeit noch einmal wiedergegeben.

Elektrolyt	$CaBr_2$	$SrBr_2$	$BaBr_2$
Ueberführungszahl des Anions	0,6051	0,5371	0,5311
spez. Leitvermögen $k_{18} \cdot 10^6$	4232	4836	4973

Die Tabellen 2—13 enthalten die Ueberführungszahlen, wie sie unter dem Einfluß der Kolloide beobachtet wurden, es lassen sich aus den Resultaten die folgenden Sätze ableiten:

1. Die Ueberführungszahl des Anions eines Elektrolyten wird durch Zusatz eines Kolloids verkleinert.
2. Bei steigendem Kolloidzusatz wächst die Verkleinerung der Ueberführungszahl stetig.
3. Der Grad der Erniedrigung wechselt mit der Natur des zugesetzten Nichtleiters, wird aber durch verschiedene Elektrolyte nicht merklich beeinflußt. Agar-

Agar hat bei den 3 untersuchten Elektrolyten ohne Ausnahme die stärkste Erniedrigung bewirkt. Es folgen hierauf die übrigen 3 Kolloide in der Reihenfolge Gelatineleim, Gummiarabikum, Pepton.

In Tabelle 14 sind die Erniedrigungen für sich noch einmal zusammengestellt, es sind hier die obigen Sätze leicht erkennbar, wenn die vertikalen Spalten miteinander verglichen werden.

II. Das elektrische Leitvermögen.

In dem 2. Teil der Arbeit ist der Einfluß von Nichtleitern auf das Leitvermögen der selben Salze (Agar-Agar, Gelatineleim, Gummiarabikum, Pepton) untersucht worden, es wurde dabei das allgemein angewandte Verfahren von Kohlrausch benutzt, welches auf Anwendung von Wechselströmen zwischen unangreifbaren Elektroden beruht.

a) Apparate.

Benutzt wurde eine Wheatstonesche Walzenbrücke nach Kohlrausch, deren Meßdraht, in 10 Windungen aufgewickelt war. Eine Skala teilte die einzelnen Windungen in 100 gleiche Teile, sodaß ein Teil gleich $^1/_{1000}$ des ganzen Drahtes war. Um den aus der Ungleichförmigkeit des Drahtes entstehenden Fehler zu vermeiden, wurde der Brückendraht durch Vergleichung seiner Teile mittels eines Rheostaten nach Ostwald, dessen Widerstände auf $^1/_{50000}$ ihres Wertes untereinander verglichen waren, vor dem Gebrauch genau kalibriert, es ergab sich die folgende Korrektionstabelle.

Skalenteile d. Drahtes[1]	0	65	110	145
Korrektion	+0,31	+0,23	+0,16	
145	280	395	485	520
+0,14	+0,10	+0,08	+0,01	
520	575	710	790	845
−0,04	−0,05	−0,02	+0,02	
845	895	950	1000	
	+0,10	+0,12	+0,10	

[1] Die 10 Umgänge entsprechen 1000 Skalenteilen.

Wie ersichtlich ist in der Mitte des Drahtes der Fehler nur sehr gering; dennoch wurde die Korrektion in allen Fällen berücksichtigt.

Der Widerstandskasten, mit von Herrn Professor Dorn abgeglichenen Widerständen von 0,1, 1, 10, 100, 1000 und 10 000, war fest mit dem Walzenapparat verbunden.

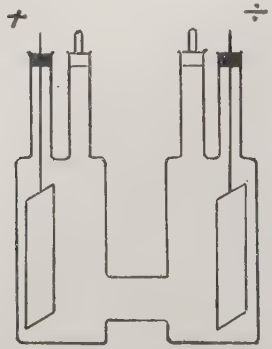
Das verwandte kleine Induktorium war mit einem Saitenunterbrecher versehen, der ein kaum hörbares Geräusch verursachte, sodaß bequem ohne Antiphon gearbeitet werden konnte.

Als Stromquelle diente ein Akkumulator.

Das Hörtelephon von Siemens und Halske reagierte selbst auf die schwächsten Ströme ausgezeichnet und sprach immer gut an. Das Schallminimum war bei allen Messungen ein so scharfes, daß die auf 0,1 Skalenteile der Walze gemachten Ablesungen selten überhaupt eine Abweichung zeigten.

Das Widerstandsgefäß hatte die in Fig. 2 dargestellte, von Kohlrausch angegebene Form.

Fig. 2.



Die Platinelektroden von ungefähr 3 cm^2 Größe waren, um Polarisationswirkung zu vermeiden, gut platiniert.

b) Versuchstemperaturen.

Da ein Thermoregulator für 18^0 schwer in Betrieb zu setzen ist, habe ich anfangs versucht, mit einem Temperaturkoeffizienten zu arbeiten, der nach der Formel

$$\frac{1}{\varkappa_{18}} \cdot \frac{\varkappa_1 - \varkappa_2}{t_1 - t_2}$$

gewonnen wurde, dabei sind t_1 und t_2 beliebige Temperaturen und $\varkappa_1$ und $\varkappa_2$ die dazu gehörigen spezifischen Leitfähigkeiten. Es zeigte sich jedoch, daß die mit Hilfe des Temperaturkoeffizienten auf 18° reduzierten Werte beträchtliche Unregelmäßigkeiten aufwiesen. Ich bin deshalb dazu übergegangen, alle Messungen direkt bei 18° vorzunehmen. Um eine einigermaßen konstante Temperatur zu bekommen, wurde das Widerstandsgefäß in ein Doppelbad von Petroleum und Wasser mit einer Anfangstemperatur von 18,5° gebracht. Nach Verlauf von ungefähr $1^1/_2$ Stunden war die Temperatur auf 18° gesunken, sodaß die Messungen ausgeführt werden konnten. Die auf diese Weise gewonnenen Werte zeigten eine vorzügliche Uebereinstimmung und für die verschiedenen Lösungen eine regelmäßige Abstufung.

c) Bestimmung der Widerstandskapazität.

Die Widerstandskapazität des Gefäßes wurde durch eine $^1/_{10}$ und $^1/_{50}$ normale Kaliumchloridlösung bestimmt und wiederholt kontrolliert. Die Werte für $\varkappa_{18}$ gleich 0,01119 resp. 0,002397 wurden aus dem Buche von Kohlrausch-Holborn entnommen, bei der Berechnung wurde außerdem die Leitfähigkeit des Lösungswassers berücksichtigt, indem der wirkliche Widerstand w_1 der verwendeten Normallösung aus der Formel

$$w_{1+2} = \frac{w_1 \cdot w_2}{w_1 + w_2}$$

berechnet wurde. Hierin bedeutet:

- w_{1+2} den Widerstand der aus destilliertem Wasser von der Leitfähigkeit $4{,}0 \cdot 10^{-6}$ bereiteten Normallösung,
- w_2 den Widerstand des benutzten Wassers,
- w_1 den Widerstand einer mit Wasser von fast unendlichem Widerstand bereiteten Normallösung.

Die vorgenommenen Messungen führten zu den folgenden Resultaten für w_1 und der Kapazität $c = w_1 \cdot \varkappa_{18}$:

1. $^1/_{10}$ n. Kaliumchloridlösung

w_1	c
320,82	3,590
320,47	3,586
320,92	3,591

2. $^1/_{50}$ n. Kaliumchloridlösung

1883,89	3,587
1886,62	3,592
1884,98	3,589

Hieraus ergibt sich für die Kapazität der Mittelwert

$$c = 3{,}589 \pm 0{,}002.$$

d) Ergebnisse.

Die Ergebnisse finden sich in Tabelle 15 und lassen sich in den folgenden Sätzen zusammenfassen.

1. Der Zusatz von Kolloiden ruft eine Abnahme der Leitfähigkeit hervor, die mit steigendem Kolloidgehalt stetig wächst.
2. Es ergibt sich in Bezug auf die Stärke der Abnahme für die verschiedenen Kolloide die nämliche Reihe — Agar-Agar, Gelatineleim, Gummiarabikum, Pepton — wie bei den Ueberführungszahlen, sodaß Agar-Agar die stärkste, Pepton die geringste Erniedrigung hervorruft.

Die von mir gefundenen Resultate decken sich im allgemeinen mit denen von Richter. Nur hat Richter für die Stärke des Einflußes der Kolloide auf die Leitfähigkeit eine andere Reihe, nämlich Agar-Agar, Pepton, Gelatineleim, Gummiarabikum, gefunden, während sich bei mir die gleiche Reihe wie bei den Ueberführungszahlen (diese findet sich auch bei Richter) ergeben hat.

Vorliegende Arbeit ist im S.-S. 1913 und W.-S. 1913/14 im physikalischen Institut der Universität Halle a. S. ausgeführt worden.

Es sei mir an dieser Stelle gestattet Herrn Geheimen Regierungsrat Professor Dr. E. Dorn für die freundliche Anregung zu dieser Arbeit und die liebenswürdige Unterstützung bei der Ausführung meinen aufrichtigsten Dank auszusprechen.

Ebenso sage ich Herrn Prof. Dr. Tubandt, Herrn Privatdozenten Dr. Wigand und Herrn Dr. Althammer für ihre mannigfaltigen Ratschläge und bereitwilligst gewährte Auskunft meinen ergebensten Dank.

Ueberführungszahlen der Salze ohne Kolloidzusatz. Tabelle 1.

Elektrolyt	Nr. des Versuches	Gewicht von 10 cm³ Lösung vor der Elektrolyse	Gewicht von 10 cm³ Lösung nach der Elektrolyse	Analyse der urspr. Lösung gr Br in 10 cm³ Einzelanalyse	Analyse der urspr. Lösung gr Br in 10 cm³ Mittel	Analyse der neutr. Schicht	Im Voltameter abgesch. Silbermenge in gr	Analyse der Anodenflüssigk. gr Br in 10 cm³ Einzelanalyse	Analyse der Anodenflüssigk. gr Br in 10 cm³ Mittel	Gewicht der Anodenflüssigk. in gr	Ueberführungszahl des Broms. Einzelwert	Ueberführungszahl des Broms. Mittel
$CaBr_2$	1	10,0040	10,0091	0,03990 0,03994	0,03992	0,03990	0,1894	0,04411 0,04413	0,04412	202,890	0,6059	0,6051
	2		10,0088	0,03991		0,03994		0,04411 0,04366	0,04364	228,583	0,6043	
								0,04363 0,04363				
$SrBr_2$	1	10,0052	10,0120	0,03999 0,04000	0,04000	0,03998	0,1890	0 04376 0,04374	0,04375	201,631	0,5365	0,5371
	2		10,0100	0,04000		0,03999		0,04374 0,04334	0,04333	227,113	0,5376	
								0,04332 0,04333				
$BaBr_2$	1	10,0055	10,0109	0,03996 0,03998	0,03997	0,03996	0,1892	0,04368 0,04365	0,04366	203,135	0,5318	0,5311
	2		10,0108	0,03997		0,03996		0,04366 0,04323	0,04322	229,178	0,5303	
								0,04321 0,04322				

$Ca\,Br_2$ + Agar Agar. Tabelle 2.

Nr. der Lösung	Nr. des Versuches	Kolloidgehalt in Gewichtsprozent	Gewicht von 10 cm³ Lösung vor der Elektrolyse	Gewicht von 10 cm³ Lösung nach der Elektrolyse	Analyse der urspr. Lösung gr Br in 10 cm³ Einzelanalyse	Analyse der urspr. Lösung gr Br in 10 cm³ Mittel	Analyse der neutr. Schicht	Im Voltameter abgesch. Silbermenge in gr	Analyse der Anodenflüssigk. gr Br in 10 cm³ Einzelanalyse	Analyse der Anodenflüssigk. gr Br in 10 cm³ Mittel	Gewicht der Anodenflüssigkeit in gr	Ueberführungszahl des Broms. Einzelwert	Ueberführungszahl des Broms. Mittel
I	1	0,0183	10,0046	10,0093	0,03990	0,03991	0,03993	0,1891	0,04406 0,04409	0,04408	201,901	0,6003	0,6003
					0,03989				0,04408				
	2			10,0091	0,03994		0,03990		0,04359	0,04359			
									0,04360		229,112	0,6003	
									0,04358				
II	1	0,0366	10,0043	10,0094	0,03993	0,03996	0,03994	0,1896	0,04403 0,04407	0,04405	202,134	0,5867	0,5860
					0,03998				0,04404				
	2			10,0093	0,03996		0,03997		0,04354	0,04355	230,001	0,5852	
									0,04357				
									0,04355				
III	1	0,0732	10,0050	10,0099	0,03987	0,03989	0,03992	0,1901	0,04393 0,04389	0,04390	201,249	0,5723	0,5724
					0,03989				0,04390				
	2			10,0099	0,03990		0,03993		0 04339	0,04341	229,861	0,5725	
									0,04343				
									0,04340				
IV	1	0,1465	10,0039	10,0092	0,03990	0,03992	0,03990	0,1898	0,04382 0,04379	0,04380	202,630	0,5572	0,5559
					0,03993				0,04378				
	2			10,0090	0,03992		0,03991		0,04334	0,04331	230,791	0,5545	
									0,04329				
									0,04331				
V	1	0,2929	10,0042	10,0093	0,03997	0,03997	0,03999	0,1894	0,04368 0,04371	0 04370	203,113	0,5380	0,5373
					0,03994				0,04371				
	2			10,0094	0,03999		0,03996		0,04328	0,04327	228,982	0,5365	
									0,04328				
									0,04326				

$CaBr_2$ + Gelatineleim.

Tabelle 3.

Nr. der Lösung	Nr. des Versuches	Kolloidgehalt in Gewichtsprozent	Gewicht von 10 cm³ Lösung vor der Elektrolyse	Gewicht von 10 cm³ Lösung nach der Elektrolyse	Analyse der urspr. Lösung gr Br in 10 cm³ Einzelanalyse	Analyse der urspr. Lösung gr Br in 10 cm³ Mittel	Analyse der neutr. Schicht	Im Voltameter abgesch. Silbermenge in gr	Analyse der Anodenflüssigk. gr Br in 10 cm³ Einzelanalyse	Analyse der Anodenflüssigk. gr Br in 10 cm³ Mittel	Gewicht der Anodenflüssigkeit in gr	Ueberführungszahl des Broms. Einzelwert	Ueberführungszahl des Broms. Mittel
I	1	0,3787	10,0047	10,0095	0,03988	0,03989	0,03992	0,1892	0,04409				
					0,03990				0,04407	0,04407	201,274	0,5988	0,5998
	2			10,0091	0,03989		0,03988		0,04406				
									0,04355	0,04357	229,272	0,6007	
									0,04359				
									0,04357				
II	1	0,7575	10,0046	10,0096	0,03997	0,03998	0,03996	0,1896	0,04409				
					0,03999				0,04410	0,04409	201,844	0,5888	0,5887
	2			10,0098	0,03997		0,03995		0,04409				
									0,04358	0,04359	229,812	0,5886	
									0,04357				
									0,04362				
III	1	1,5148	10,0049	10,0098	0,03991	0,03993	0,03996	0,1899	0,04400				
					0,03994				0,04395	0,04397	201,259	0,5781	0,5781
	2			10,0095	0,03993		0,03994		0,04396				
									0,04345				
									0,04348	0,04347	229,138	0,5780	
									0,04347				
IV	1	3,0298	10,0048	10,0099	0,03994	0,03996	0,03996	0,1893	0,04389				
					0,03997				0,04386	0,04387	202,328	0,5626	0,5627
	2			10,0098	0,03996		0,03998		0,04386				
									0,04337				
									0,04340	0,04339	230,951	0,5628	
									0,04339				
V	1	6,0594	10,0050	10,0100	0,03997	0,03998	0,03995	0,1896	0,04377				
					0,03999				0,04375	0,04376	202,619	0,5438	0,5446
	2			10,0098	0,03999		0,03997		0,04376				
									0 04336				
									0,04333	0,04334	228,501	0,5453	
									0,04333				

$CaBr_2$ + Gummiarabikum.

Tabelle 4.

Nr. der Lösung	Nr. des Versuches	Kolloidgehalt in Gewichtsprozent	Gewicht von 10 cm³ Lösung vor der Elektrolyse	Gewicht von 10 cm³ Lösung nach der Elektrolyse	Analyse der urspr. Lösung gr Br in 10 cm³ Einzelanalyse	Analyse der urspr. Lösung gr Br in 10 cm³ Mittel	Analyse der neutr. Schicht	Im Voltameter abgesch. Silbermenge in gr	Analyse der Anodenflüssigk. gr Br in 10 cm³ Einzelanalyse	Analyse der Anodenflüssigk. gr Br in 10 cm³ Mittel	Gewicht der Anodenflüssigkeit in gr	Ueberführungszahl des Broms. Einzelwert	Ueberführungszahl des Broms. Mittel
I	1	0,5015	10,0041	10,0097	0,03995	0,03996	0,03995	0,1893	0,04417 0,04414	0,04415	201,711	0,6006	0,6010
	2			10,0097	0,03997		0,03995		0,04414 0,04365				
									0,04365 0,04366	0,04365	229,217	0,6013	
II	1	1,0030	10,0046	10,0098	0,03996	0,03996	0,03998	0,1896	0,04408 0,04410	0,04409	202,139	0,5923	0,5916
	2			10,0096	0,03997 0,03994		0,03996		0,04409 0,04356				
									0,04359 0,04358	0,04358	230,111	0,5909	
III	1	2,0059	10,0048	10,0097	0,03999	0,03999	0,03998	0,1898	0,04403 0,04406	0,04405	201,537	0,5807	0,5805
	2			10,0094	0,03998 0,03999		0,03997		0,04405 0,04355	0,04356	229,368	0,5803	
									0,04358 0,04355				
IV	1	4,0118	10,0051	10,0099	0,03998	0,03996	0,03998	0,1901	0,04394 0,04394	0,04393	202,071	0,5678	0,5685
	2			10,0100	0,03996 0,03995		0,03996		0,04392 0,04344	0,04345	230,563	0,5691	
									0,04343 0,04347				
V	1	8,0232	10,0052	10,0102	0,03999	0,03999	0,04000	0,1898	0,04381 0,04384	0,04383	202,604	0,5516	0,5510
	2			10,0099	0,04000 0,03999		0,03998		0,04383 0,04335	0,04336	230,197	0,5503	
									0,04336 0,04338				

$Ca\,Br_2$ + Pepton

Tabelle 5.

Nr. der Lösung	Nr. des Versuches	Kolloidgehalt in Gewichtsprozent	Gewicht von 10 cm³ Lösung vor der Elektrolyse	Gewicht von 10 cm³ Lösung nach der Elektrolyse	Analyse der urspr. Lösung gr Br in 10 cm³ Einzelanalyse	Analyse der urspr. Lösung gr Br in 10 cm³ Mittel	Analyse der neutr. Schicht	Im Voltameter abgesch. Silbermenge in gr	Analyse der Anodenflüssigk. gr Br in 10 cm³ Einzelanalyse	Analyse der Anodenflüssigk. gr Br in 10 cm³ Mittel	Gewicht der Anodenflüssigkeit in gr	Ueberführungszahl des Broms. Einzelwert	Ueberführungszahl des Broms. Mittel
I	1	0,0364	10,0041	10,0091	0,03995	0,03995	0,03996	0,1891	0,04413	0,04414	201,602	0,6021	0,6023
					0,03994				0,04414				
	2			10,0091	0,03997		0,03993		0,04414				
									0,04365	0,04364	229,398	0,6024	
									0,04364				
									0,04363				
II	1	0,0728	10,0043	10,0094	0,03997	0,03996	0,03996	0,1894	0,04409	0,04411	202,002	0,5957	0,5945
					0,03998				0,04412				
	2			10,0093	0,03994		0,03994		0,04412				
									0,04358	0,04360	229,554	0,5932	
									0,04360				
									0,04361				
III	1	0,1455	10,0052	10,0098	0,03996	0,03994	0,03991	0,1895	0,04400	0,04402	201,915	0,5870	0,5868
					0,03994				0,04403				
	2			10,0095	0,03993		0,03993		0,04403				
									0,04354	0,04353	229,941	0,5865	
									0,04351				
									0,04355				
IV	1	0,2911	10,0049	10,0096	0,03996	0,03997	0,03999	0,1900	0,04399	0,04400	201,203	0,5752	0,5745
					0,03998				0,04399				
	2			10,0099	0,03998		0,03997		0,04401				
									0,04352	0,04350	229,379	0,5738	
									0,04349				
									0,04350				
V	1	0,5821	10,0048	10,0099	0,03994	0,03996	0,03992	0,1894	0,04384	0,04385	202,132	0,5590	0,5585
					0,03996				0,04384				
	2			10,0095	0,03997		0,03994		0,04386				
									0,04336	0,04338	228,179	0,5579	
									0,04338				
									0,04339				

$Sr\,Br_2$ + Agar Agar. Tabelle 6.

Nr. der Lösung	Nr. des Versuches	Kolloidgehalt in Gewichtsprozent	Gewicht von 10 cm³ Lösung vor der Elektrolyse	Gewicht von 10 cm³ Lösung nach der Elektrolyse	Analyse der urspr. Lösung gr Br in 10 cm³ Einzelanalyse	Analyse der urspr. Lösung gr Br in 10 cm³ Mittel	Analyse der neutr. Schicht	Im Voltameter abgesch. Silbermenge in gr	Analyse der Anodenflüssigk. gr Br in 10 cm³ Einzelanalyse	Analyse der Anodenflüssigk. gr Br in 10 cm³ Mittel	Gewicht der Anodenflüssigkeit in gr	Ueberführungszahl des Broms. Einzelwert	Ueberführungszahl des Broms. Mittel
I	1	0,0183	10,0054	10,0127	0,03996	0,03997	0,03997	0,1889	0,04366 0,04369	0,04368	201,911	0,5316	0,5315
	2			10,0119	0,03998 0,03996		0,03999		0,04369 0,04325 0,04325 0,04324	0,04325	228,314	0,5314	
II	1	0,0366	10,0049	10,0111	0,03998	0,03998	0,03997	0,1893	0,04361 0,04359	0,04360	201,875	0,5180	0,5179
	2			10,0112	0,03997 0,04000		0,03996		0,04360 0,04318 0,04316 0,04319	0,04318	228,431	0,5178	
III	1	0,0732	10,0053	10,0099	0,03999	0,03998	0,03998	0,1891	0,04347 0,04349	0,04349	202,117	0,5047	0,5043
	2			10,0103	0,03998 0,03996		0,03997		0,04350 0,04309 0,04309 0,04307	0,04308	228,963	0,5039	
IV	1	0,1464	10,0051	10,0091	0,03995	0,03996	0,03998	0,1894	0,04333 0,04336	0,04335	202,347	0,4875	0,4867
	2			10,0098	0,03997 0,03996		0,03998		0,04336 0,04294 0,04297 0,04296	0,04296	228,601	0,4859	
V	1	0,2928	10,0056	10,0098	0,03994	0,03995	0,03994	0,1897	0,04320 0,04322	0,04321	202,725	0,4686	0,4676
	2			10,0104	0,03996 0,03996		0,03993		0,04320 0,04284 0,04284 0,04282	0,04283	228,903	0,4666	

$Sr Br_2$ + Gelatineleim

Tabelle 7.

Nr. der Lösung	Nr. des Versuches	Kolloidgehalt in Gewichtsprozent	Gewicht von 10 cm³ Lösung vor der Elektrolyse	Gewicht von 10 cm³ Lösung nach der Elektrolyse	Analyse der urspr. Lösung gr Br in 10 cm³ Einzelanalyse	Analyse der urspr. Lösung gr Br in 10 cm³ Mittel	Analyse der neutr. Schicht	Im Voltameter abgesch. Silbermenge in gr	Analyse der Anodenflüssigk. gr Br in 10 cm³ Einzelanalyse	Analyse der Anodenflüssigk. gr Br in 10 cm³ Mittel	Gewicht der Anodenflüssigkeit in gr	Ueberführungszahl des Broms. Einzelwert	Ueberführungszahl des Broms. Mittel
I	1	0,3787	10,0049	10,0098	0,03998	0,03998	0,03996	0,1888	0,04368 0,04369	0,04369	202,461	0,5349	0,5347
					0 03997				0,04369				
	2			10,0097	0,04000		0,03999		0,04325	0,04326	228,937	0,5344	
									0,04324				
									0.04328				
II	1	0,7574	10,0049	10,0102	0,04000	0,03999	0,04000	0,1892	0,04361 0,04364	0,04363	202,503	0,5238	0,5231
					0,03999				0,04364				
	2			10,0100	0,03998		0,04000		0,04320	0,04320	229,179	0,5224	
									0,04320				
									0.04319				
III	1	1,5148	10,0051	10,0111	0,03996	0,03995	0,03994	0,1894	0,04351 0,04350	0,04350	202,675	0,5104	0,5108
					0,03994				0,04350				
	2			10,0109	0,03996		0,03997		0,04310	0,04310	229,001	0,5112	
									0,04311				
									0,04308				
IV	1	3,0298	10,0048	10,0099	0,03999	0,03998	0,03998	0,1891	0,04342 0,04343	0,04343	201,763	0,4947	0,4952
					0,03997				0,04343				
	2			10,0107	0,03997		0,03996		0,04305	0,04303	228,927	0,4957	
									0,04302				
									0,04303				
V	1	6,0593	10,0053	10,0113	0,03994	0,03994	0,03995	0,1897	0,04328 0,04327	0,04328	201,693	0,4778	0,4786
					0,03994				0,04328				
	2			10,0112	0,03995		0,03993		0,04284	0,04286	228,647	0,4794	
									0 04287				
									0,04287				

$Sr\,Br_2$ + Gummiarabikum. Tabelle 8.

Nr. der Lösung	Nr. des Versuches	Kolloidgehalt in Gewichtsprozent	Gewicht von 10 cm³ Lösung vor der Elektrolyse	Gewicht von 10 cm³ Lösung nach der Elektrolyse	Analyse der urspr. Lösung gr B in 10 cm³ Einzelanalyse	Analyse der urspr. Lösung gr B in 10 cm³ Mittel	Analyse der neutr. Schicht	Im Voltameter abgesch. Silbermenge in gr	Analyse der Anodenflüssigk. gr Br in 10 cm³ Einzelanalyse	Analyse der Anodenflüssigk. gr Br in 10 cm³ Mittel	Gewicht der Anodenflüssigkeit in gr	Ueberführungszahl des Broms. Einzelwert	Ueberführungszahl des Broms. Mittel
I	1	0,5015	10,0048	10,0099	0,03997	0,03997	0,03998	0,1893	0,04367 0,04370	0,04369	202,138	0,5344	0,5341
	2			10,0107	0,03998 0,03997		0,03998		0,04369 0,04326 0,04328 0,04328	0,04327	228,259	0,5337	
II	1	1,0030	10,0051	10,0098	0,03997	0,03999	0,03997	0,1891	0,04366 0,04364	0,04365	202,911	0,5281	0,5267
	2			10,0103	0,03999 0,04000		0,04000		0,04365 0,04321 0,04323 0,04321	0,04322	228,937	0,5252	
III	1	2,0058	10,0055	10,0106	0,03994	0,03996	0,03997	0,1895	0,04356 0,04354	0,04355	202,164	0,5143	0,5157
	2			10,0103	0,03997 0,03996		0,03996		0,04356 0,04313 0,04312 0,04312	0,04312	228,843	0,5170	
IV	1	4,0117	10,0053	10,0098	0,03997	0,03997	0,03998	0,1898	0,04345 0,04346	0,04346	202,376	0,5007	0,5008
	2			10,0097	0,03999 0,03996		0,03998		0,04346 0,04308 0,04306 0,04306	0,04307	228,445	0,5008	
V	1	8,0232	10,0054	10,0099	0,03994	0,03994	0,03995	0,1891	0,04333 0,04333	0,04332	201,926	0,4857	0,4851
	2			10,0106	0,03995 0,03994		0,03993		0,04330 0,04293 0,04294 0,04293	0,04293	228,327	0,4845	

$SrBr_2$ + Pepton. Tabelle 9.

Nr. der Lösung	Nr. des Versuches	Kolloidgehalt in Gewichtsprozent	Gewicht von 1 cm³ Lösung vor der Elektrolyse	Gewicht von 1 cm³ Lösung nach der Elektrolyse	Analyse der urspr. Lösung gr Br in 10 cm³ Einzelanalyse	Analyse der urspr. Lösung gr Br in 10 cm³ Mittel	Analyse der neutr. Schicht	Im Voltameter abgesch. Silbermenge in gr	Analyse der Anodenflüssigk. gr Br in 10 cm³ Einzelanalyse	Analyse der Anodenflüssigk. gr Br in 10 cm³ Mittel	Gewicht der Anodenflüssigkeit in gr.	Ueberführungszahl des Broms. Einzelwert	Ueberführungszahl des Broms. Mittel
I	1	0,0364	10,0047	10,0099	0,03997	0,03996	0,03995	0,1890	0,04367	0,04368	202,135	0,5344	0,5349
					0,03996				0,04369				
	2			10,0096	0,03995		0,03998		0,04367				
									0,04326	0,04326	228,679	0,5353	
									0,04326				
									0,04325				
II	1	0,0728	10,0049	10,0106	0,03999	0,03999	0,03999	0,1892	0,04366	0,04367	202,703	0,5294	0,5293
					0,03999				0,04368				
	2			10,0103	0,04000		0,03998		0,04366				
									0,04325	0,04325	228,646	0,5292	
									0,04326				
									0,04325				
III	1	0,1455	10,0052	10,0102	0,03995	0,03996	0,03995	0,1894	0,04358	0,04359	202,001	0,5203	0,5194
					0,03997				0,04360				
	2			10,0101	0,03997		0,03995		0,04360				
									0,04316	0,04316	228,611	0,5185	
									0,04317				
									0,04315				
IV	1	0,2910	10,0054	10,0109	0,03997	0,03999	0,03998	0,1897	0,04354	0,04355	201,998	0,5096	0,5091
					0,03999				0,04356				
	2			10,0104	0,04000		0,03999		0,04354				
									0,04314	0,04313	228,764	0,5085	
									0,04312				
									0,04313				
V	1	0,5820	10,0059	10,0108	0,03999	0,04000	0,03998	0,1896	0,04345	0,04344	202,717	0,4946	0,4941
					0,03999				0,04343				
	2			10,0107	0,04001		0,03999		0,04344				
									0,04305	0,04305	227,998	0,4935	
									0,04306				
									0,04305				

$Ba\,Br_2$ + Agar-Agar — Tabelle 10.

Nr. der Lösung	Nr. des Versuches	Kolloidgehalt in Gewichtsprozent	Gewicht von 10 cm³ Lösung vor der Elektrolyse	Gewicht von 10 cm³ Lösung nach der Elektrolyse	Analyse der urspr. Lösung gr Br in 10 cm³ Einzelanalyse	Analyse der urspr. Lösung gr Br in 10 cm³ Mittel	Analyse der neutr. Schicht	Im Voltameter abgesch. Silbermenge in gr	Analyse der Anodenflüssigk. gr Br in 10 cm³ Einzelanalyse	Analyse der Anodenflüssigk. gr Br in 10 cm³ Mittel	Gewicht der Anodenflüssigkeit in gr	Ueberführungszahl des Broms. Einzelwert	Ueberführungszahl des Broms. Mittel
I	1	0,0183	10,0054	10,0112	0,03997	0,03997	0,03998	0,1890	0,04359	0,04360	203,231	0,5238	0,5241
					0,03996				0,04361				
	2			10,0109	0,03999		0,03999		0,04316	0,04318	229,365	0,5244	
									0,04319				
									0,04318				
II	1	0,0366	10,0057	10,0115	0,03994	0,03996	0,03995	0,1888	0,04354	0,04354	203,004	0,5168	0,5166
					0,03997				0,04354				
	2			10,0111	0,03996		0,03996		0,04353	0,04312	229,102	0,5163	
									0,04311				
									0,04313				
III	1	0,0732	10,0058	10,0115	0,03994	0,03994	0,03995	0,1889	0,04344	0,04345	203,213	0,5056	0,5061
					0,03995				0,04344				
	2			10,0113	0,03993		0,03994		0,04346	0,04304	229,179	0,5065	
									0,04304				
									0,04305				
									0,04304				
IV	1	0,1464	10,0058	10,0117	0,03997	0,03998	0,03999	0,1888	0,04338	0,04337	203,526	0,4896	0,4899
					0,03999				0,04336				
	2			10,0114	0,03997		0,03996		0,04337	0,04298	229,034	0,4902	
									0,04299				
									0,04296				
									0,04299				
V	1	0,2928	10,0059	10,0116	0,03998	0,03997	0,03997	0,1887	0,04324	0,04323	203,214	0,4700	0,4704
					0,03998				0,04324				
	2			10,0115	0,03996		0,03996		0,04322	0,04285	229,433	0,4707	
									0,04286				
									0,04284				
									0,04284				

$Ba\,Br_2$ + Gelatineleim.

Tabelle 11.

Nr. der Lösung	Nr. des Versuches	Kolloidgehalt in Gewichtsprozent	Gewicht von 10 cm³ Lösung vor der Elektrolyse	Gewicht von 10 cm³ Lösung nach der Elektrolyse	Analyse der urspr. Lösung gr. B in 10 cm³ Einzelanalyse	Analyse der urspr. Lösung gr. B in 10 cm³ Mittel	Analyse der neutr. Schicht	Im Voltameter abgesch. Silbermenge in gr	Analyse der Anodenflüssigk. gr Br in 10 cm³ Einzelanalyse	Analyse der Anodenflüssigk. gr Br in 10 cm³ Mittel	Gewicht der Anodenflüssigkeit in gr	Ueberführungszahl des Broms. Einzelwert	Ueberführungszahl des Broms. Mittel
I	1	0,3787	10,0053	10,0099	0,03997	0,03997	0,03998	0,1894	0,04361	0,04362	203,142	0,5258	0,5261
					0,03996				0,04363				
	2			10,0099	0,03996		0,03996		0,04361				
									0,04322	0,04320	228,998	0,5265	
									0,04319				
									0,04320				
II	1	0,7574	10,0054	10,0103	0,03998	0,03996	0,03996	0,1891	0,04355	0,04356	203,103	0,5189	0,5192
					0,03996				0,04357				
	2			10,0101	0,03995		0,03998		0,04356				
									0,04315	0,04314	229,276	0,5195	
									0,04314				
									0,04314				
III	1	1,5147	10,0057	10,0104	0,03999	0,03998	0,03999	0,1890	0,04348	0,04349	203,411	0,5075	0,5073
					0,03998				0,04349				
	2			10,0103	0,03998		0,03999		0,04349				
									0,04307	0,04308	229,269	0,5071	
									0,04309				
									0,04309				
IV	1	3,0295	10,0058	10,0106	0,03999	0,03999	0,04000	0,1889	0,04342	0,04343	203,325	0,4967	0,4968
					0,03999				0,04344				
	2			10,0106	0,03999		0,03998		0,04344				
									0,04302	0,04303	229,198	0,4968	
									0,04304				
									0,04303				
V	1	6,0588	10,0059	10,0107	0,03995	0,03996	0,03996	0,1890	0,04328	0,04328	203,297	0,4791	0,4788
					0,03996				0,04326				
	2			10,0106	0,03996		0,03997		0,04329				
									0,04289	0,04289	229,131	0,4785	
									0,04290				
									0,04289				

$BaBr_2$ + Gummiarabikum. Tabelle 12.

Nr. der Lösung	Nr. des Versuches	Kolloidgehalt in Gewichtsprozent	Gewicht von 10 cm³ Lösung vor der Elektrolyse	Gewicht von 10 cm³ Lösung nach der Elektrolyse	Analyse der urspr. Lösung gr Br in 10 cm³ Einzelanalyse	Analyse der urspr. Lösung gr Br in 10 cm³ Mittel	Analyse der neutr. Schicht	Im Voltameter abgesch. Silbermenge in gr	Analyse der Anodenflüssigk. gr Br in 10 cm³ Einzelanalyse	Analyse der Anodenflüssigk. gr Br in 10 cm³ Mittel	Gewicht der Anodenflüssigkeit in gr	Ueberführungszahl des Broms. Einzelwert	Ueberführungszahl des Broms. Mittel
I	1	0,5015	10,0054	10,0100	0,03996	0,03997	0,03998	0,1895	0,04364 0,04363	0,04363	203,413	0,5274	0,5276
	2			10,0098	0,03999 0,03997		0,03997		0,04363 0,04323 0,04320 0,04320	0,04321	228,914	0,5277	
II	1	1,0030	10,0056	10,0103	0,03994	0,03995	0,03995	0,1894	0,04357 0,04355	0,04357	203,137	0,5215	0,5221
	2			10,0101	0,03997 0,03995		0,03997		0,04358 0,04316 0,04314 0,04315	0,04315	229,521	0,5227	
III	1	2,0058	10,0057	10,0106	0,03999	0,03999	0,03998	0,1891	0,04354 0,04351	0,04353	203,148	0,5104	0,5110
	2			10,0104	0,03998 0,04000		0,03998		0,04354 0,04312 0,04313 0,04312	0,04312	229,103	0,5116	
IV	1	4,0115	10,0057	10,0107	0,03996	0,03995	0,03996	0,1890	0,04342 0,04344	0,04343	203,264	0,5006	0,5005
	2			10,0106	0,03994 0,03996		0,03997		0,04344 0,04302 0,04302 0,04300	0,04301	229,432	0,5004	
V	1	8,0230	10,0056	10,0106	0,03997	0,03997	0,03996	0,1890	0,04334 0,04334	0,04334	203,157	0,4859	0,4863
	2			10,0106	0,03996 0,03998		0,03997		0,04333 0,04294 0,04296 0,04296	0,04295	229,235	0,4866	

Nr. der Lösung	Nr des Versuches	Kolloidgehalt in Gewichtsprozent	Gewicht von 10 cm³ Lösung vor der Elektrolyse	Gewicht von 10 cm³ Lösung nach der Elektrolyse	Analyse der urspr. Lösung gr Br in 10 cm³ Einzelanalyse	Analyse der urspr. Lösung gr Br in 10 cm³ Mittel	Analyse der neutr. Schicht	Im Voltameter abgesch. Silbermenge in gr	Analyse der Anodenflüssigk. gr Br in 10 cm³ Einzelanalyse	Analyse der Anodenflüssigk. gr Br in 10 cm³ Mittel	Gewicht der Anodenflüssigkeit in gr	Ueberführungszahl des Broms. Einzelwert	Ueberführungszahl des Broms. Mittel
I	1	0,0364	10,0055	10,0101	0,03994	0,03994	0,03995	0,1896	0,04360				
					0,03993				0,04362	0,04361	203,327	0,5287	0,5283
									0,04362				
	2			10,0100	0,03994		0,03994		0,04319	0,04318	229,102	0,5279	
									0,04318				
									0,04316				
II	1	0,0728	10,0054	10,0104	0,03999	0,03998	0,03998	0,1893	0,04361				
					0,03997				0,04360	0,04361	203,410	0,5243	0,5244
									0,04361				
	2			10,0101	0,03997		0,03999		0,04319	0,04319	229,379	0,5245	
									0,04321				
									0,04318				
III	1	0,1455	10,0057	10,0104	0,03996	0,03995	0,03996	0,1892	0,04350				
					0,03995				0,04353	0,04351	203,136	0,5135	0,5140
									0,04351				
	2			10,0102	0,03994		0,03997		0,04309	0,04310	229,200	0,5144	
									0,01310				
									0,04310				
IV	1	0,2910	10,0056	10,0105	0,03996	0,03998	0,03997	0,1891	0,04348				
					0,03999				0,04350	0,04349	203,129	0,5058	0,5056
									0,04350				
	2			10,0103	0,03998		0,03999		0,04307	0,04307	229,417	0,5054	
									0,04306				
									0,04308				
V	1	0,5820	10,0058	10,0106	0,03997	0,03997	0,03996	0,1893	0,04337				
					0,03997				0,04339	0,04338	203,316	0,4914	0,4917
									0,04339				
	2			10,0104	0,03996		0,03998		0,04296	0,04298	229,421	0,4920	
									0,04299				
									0,04299				

Erniedrigung der Ueberführungszahl durch das Kolloid. Tabelle 14.

Kolloidzusatz	Erniedrigung der Ueberführungszahl des Br in			Kolloidzusatz	Erniedrigung der Ueberführungszahl des Br in		
	$Ca\,Br_2$	$Sr\,Br_2$	$Ba\,Br_2$		$Ca\,Br_2$	$Sr\,Br_2$	$Ba\,Br_2$
1/16 Agar-Agar	0,0048	0,0056	0,0070	1/16 Gelatine-Leim	0,0053	0,0024	0,0050
1/8 „	0,0191	0,0192	0,0145	1/8 „	0,0164	0,0140	0,0119
1/4 „	0,0327	0,0328	0,0250	1/4 „	0,0270	0,0263	0,0238
1/2 „	0,0492	0,0504	0,0412	1/2 „	0,0424	0,0419	0,0443
1/1 „	0,0678	0,0695	0,0607	1/1 „	0,0605	0,0585	0,0523

Kolloidzusatz	Erniedrigung der Ueberführungszahl des Br in			Kolloidzusatz	Erniedrigung der Ueberführungszahl des Br in		
	$Ca\,Br_2$	$Sr\,Br_2$	$Ba\,Br_2$		$Ca\,Br_2$	$Sr\,Br_2$	$Ba\,Br_2$
1/16 Gummi ar.	0,0041	0,0030	0,0035	1/16 Pepton	0,0028	0,0022	0,0026
1/8 „	0,0135	0,0104	0,0090	1/8 „	0,0106	0,0078	0,0067
1/4 „	0,0246	0,0214	0,0201	1/4 „	0,0183	0,0177	0,0171
1/2 „	0,0366	0,0363	0,0306	1/2 „	0,0306	0,0280	0,0255
1/1 „	0,0541	0,0520	0,0448	1/1 „	0,0466	0,0430	0,0394

Leitfähigkeitsmessungen. Tabelle 15a.

$$\Lambda = \frac{\varkappa_{18}}{\eta};\ l_a = n_a\ \Lambda;\ c = 3{,}589.$$

Kolloid	$\varkappa_{18} \cdot 10^6$	Lösung	w	$\varkappa_{18} \cdot 10^6$	η	Λ	l_a
		$Ca\ Br_2$	848,1	4232	0,04993	84,76	51,29
1/16 Agar	6,295	$Ca\ Br_2$ + 1/16 Agar	848,3	4231	0,04991	84,77	50,89
1/8 „	7,034	„ + 1/8 „	851,0	4216	0,04998	84,35	49,43
1/4 „	8,216	„ + 1/4 „	855,2	4197	0,04989	84,13	48,15
1/2 „	9,361	„ + 1/2 „	857,9	4183	0,04993	83,78	46,57
1/1 „	12,274	„ + 1/1 „	864,0	4154	0,04999	83,10	44,65
1/16 Gel. L.	7,664	$Ca\ Br_2$ + 1/16 Gel. L.	848,0	4232	0,04989	84,83	50,88
1/8 „	9,846	„ + 1/8 „	849,8	4223	0,05000	84,46	49,72
1/4 „	12,643	„ + 1/4 „	853,4	4206	0,04994	84,22	48,69
1/2 „	15,443	„ + 1/2 „	856,9	4188	0,04998	83,79	47,15
1/1 „	17,717	„ + 1/1 „	861,7	4165	0,05000	83,30	45,36
1/16 Gum.-Ar.	10,421	$CaBr_2$ + 1/16 Gum.-Ar	848,3	4231	0,04998	84,65	50,88
1/8 „	12,711	„ + 1/8 „	849,6	4224	0,04998	84,51	50,00
1/4 „	15,634	„ + 1/4 „	852,6	4209	0,05000	84,18	48,87
1/2 „	17,825	„ + 1/2 „	854,9	4198	0,04998	83,99	48,08
1/1 „	19,998	„ + 1/1 „	858,9	4179	0,05001	83,56	46,04
1/16 Pepton	6,023	$Ca\ Br_2$ + 1/16 Pepton	848,1	4232	0,04996	84,71	51,01
1/8 „	6,816	„ + 1/8 „	848,9	4228	0,04998	84,59	50,29
1/4 „	8,137	„ + 1/4 „	850,9	4218	0,04995	84,44	49,55
1/2 „	12,149	„ + 1/2 „	853,0	4207	0,04999	84,16	47,25
1/1 „	15,043	„ + 1/1 „	856,5	4190	0,04998	83,83	46,82

Lösung	W	$K_{18} \cdot 10^6$	η	Λ	l a
$SrBr_2$	742,2	4836	0,05003	96,66	51,92
$SrBr_2$ + 1/16 Agar	742,4	4834	0,04999	96,70	51,40
" + 1/8 "	743,8	4825	0,05000	96,50	48,84
" + 1/4 "	747,3	4803	0,05000	96,06	48,44
" + 1/2 "	750,6	4781	0,04998	95,64	46,55
" + 1/1 "	755,8	4749	0,04996	95,14	44,49
$SrBr_2$ + 1/16 Gel. L	742,5	4834	0,05000	96,68	51,70
" + 1/8 "	743,2	4829	0,05001	96,56	50,51
" + 1/4 "	745,8	4812	0,04996	96,32	49,20
" + 1/2 "	748,1	4796	0,05000	95,92	47,50
" + 1/1 "	752.0	4773	0,04995	95,55	45,73
$SrBr_2$ + 1/16 Gum. ar.	742,4	4834	0,04999	96,70	51,65
" + 1/8 "	742,9	4831	0,05001	96,60	50,89
" + 1/4 "	744,1	4823	0,04998	96,50	49,76
" + 1/2 "	746,4	4808	0,04999	96,18	48,17
" + 1/1 "	748,8	4793	0,04995	95,96	46,55
$SrBr_2$ + 1/16 Pepton	742,3	4835	0,04998	96,74	51,75
" + 1/8 "	742,8	4832	0,05001	96,62	51,14
" + 1/4 "	743,6	4826	0,04998	96,56	50,15
" + 1/2 "	745,6	4813	0,05001	96,24	49,00
" + 1/1 "	747,0	4805	0,05003	96,04	47,45

Lösung	W	$K_{18} \cdot 10^6$	η	Λ	l a
$BaBr_2$	721,8	4973	0,04999	99,48	52,84
$BaBr_2$ + 1/16 Agar	721,9	4972	0,04999	99,46	52,13
" + 1/8 "	722,9	4965	0,04998	99,34	51,32
" + 1/4 "	724,7	4952	0,04995	99,14	50,17
" + 1/2 "	729,8	4918	0,05000	98,36	48,19
" + 1/1 "	734,6	4886	0,04999	97,74	47,05
$BaBr_2$ + 1/16 Gel. L.	721,9	4972	0,04999	99,46	52,33
" + 1/8 "	723,1	4963	0,04998	99,30	51,56
" + 1/4 "	725,2	4949	0,05000	98,98	50,21
" + 1/2 "	728,3	4928	0,05001	98,54	48,95
" + 1/1 "	730,8	4911	0,04998	98,26	47,04
$BaBr_2$ + 1/16 Gum. ar.	722,0	4971	0,04999	99,44	52,46
" + 1/8 "	722,9	4965	0,04996	99,38	51,89
" + 1/4 "	724,4	4954	0,05001	99,06	50,62
" + 1/2 "	727,3	4935	0,04996	98,78	49,44
" + 1/1 "	728,9	4924	0,04999	98,23	47,77
$BaBr_2$ + 1/16 Pepton	721,9	4972	0,04995	99,54	52,59
" + 1/8 "	722,2	4969	0,05000	99,38	52,11
" + 1/4 "	723,8	4959	0,04996	99,26	51,02
" + 1/2 "	726,6	4939	0,05000	98,78	49,94
" + 1/1 "	727,9	4931	0,04999	98,64	48,50

Lebenslauf.

Ich, Hans Adolf Gummelt, evangelischer Konfession und Hamburgischer Staatsangehörigkeit, bin am 15. Oktober 1889 in der Freien und Hansestadt Hamburg geboren. Nach anfänglichem Besuch der Volksschule und einer Privatschule trat ich später in die Oberrealschule auf der Uhlenhorst über, welche ich Ostern 1910 mit dem Zeugnis der Reife verließ, um Mathematik und Naturwissenschaft zu studieren. Gehört habe ich bei den folgenden Professoren und Dozenten.

In Marburg: v. Dalwigk, Diels, Hellinger, Hensel, Mannkopff, Richarz, Schulze, Wegener.

In Halle: Dorn, Gutzmer, Krueger, Menzer, Schenck, Schlüter, Schmidt, Scupin, Tubandt, Walther, Wangerin, Wigand.